

WAVELENGTH DISPERSION COMPENSATION SYSTEM

Patent Number: JP2002077053
Publication date: 2002-03-15
Inventor(s): TAKAHARA TOMOO; OOI HIROMI; ISHIKAWA JOJI
Applicant(s): FUJITSU LTD
Requested Patent: ☐ JP2002077053
Application Number: JP20000269231 20000905
Priority Number(s):
IPC Classification: H04B10/02; H04B10/18; H04B10/14; H04B10/135; H04B10/13; H04B10/12
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a wavelength dispersion compensation system that can accurately detect a zero value of remaining wavelength dispersion after wavelength dispersion compensation so as to compensate the wavelength dispersion with respect to the wavelength dispersion compensation system that improves deterioration in a transmission waveform due to the wavelength dispersion in an optical fiber transmission line.

SOLUTION: The wavelength dispersion compensation system where the intensity of a specific frequency component of transmission data obtained by applying electric conversion to a received optical signal is monitored to control wavelength dispersion in a wavelength dispersion variable element thereby compensating the wavelength dispersion to which the received optical signal is subjected in the optical fiber transmission line. A wavelength dispersion attaching element having a wavelength dispersion that is equal to a difference between the wavelength dispersion at which the intensity of the specific frequency component of the transmission data is maximized, and the wavelength dispersion at which the waveform of the transmission data is optimum is inserted to a side monitoring the intensity of the specific frequency component of the transmission data or a side outputting the transmission data.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-77053
(P2002-77053A)

(43) 公開日 平成14年3月15日 (2002.3.15)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 4 B 10/02		H 0 4 B 9/00	M 5 K 0 0 2
10/18			Q
10/14			
10/135			
10/13			

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 25 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-269231 (P2000-269231)

(22) 出願日 平成12年9月5日 (2000.9.5)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72) 発明者 高原 智夫

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 大井 寛己

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100108187

弁理士 横山 淳一

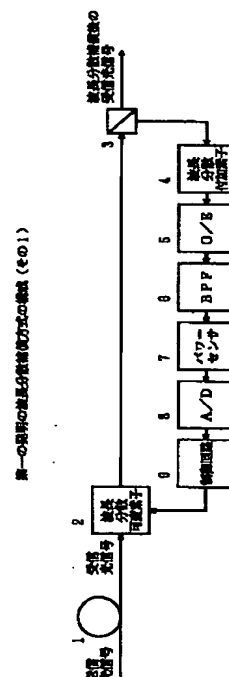
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長分散補償方式

(57) 【要約】

【課題】 光ファイバ伝送路における波長分散による伝送波形劣化を改善する波長分散補償方式に関し、波長分散補償後の残留波長分散の0値を正確に検出して波長分散の補償を行なう波長分散補償方式を提供する。

【解決手段】 受信光信号を電気変換して得られる伝送データの特定の周波数成分の強度をモニタして波長分散可変素子の波長分散値を制御し、該受信光信号が光ファイバ伝送路中で受けた波長分散を補償する波長分散補償方式において、伝送データの特定の周波数成分の強度が最大値になる波長分散値と伝送データの波形が最適になる波長分散値との差に等しい波長分散を有する波長分散付加素子を、伝送データの特定の周波数成分の強度をモニタする側又は伝送データを出力する側のいずれかに挿入して構成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 受信光信号を電気変換して得られる伝送データの特定の周波数成分の強度をモニタして波長分散可変素子の波長分散値を制御し、該受信光信号が光ファイバ伝送路中で受けた波長分散を補償する波長分散補償方式において、

伝送データの特定の周波数成分の強度が特定の値になる波長分散値と、伝送データの波形が最適になる波長分散値との差に等しい波長分散を有する波長分散付加素子を、伝送データの特定の周波数成分の強度をモニタする側又は伝送データを出力する側のいずれかに挿入することを特徴とする波長分散補償方式。

【請求項2】 請求項1記載の波長分散補償方式において、

チャージング・パラメタの符号情報を与え、モニタして得られた伝送データの特定の周波数成分の強度の波長分散値に対するフィギュアとを比較して波長分散の補償を行なうことを特徴とする波長分散補償方式。

【請求項3】 請求項1記載の波長分散補償方式において、

光通信システムの初期設定時に波長分散可変素子に与える波長分散値の制御量をスweepして伝送データの特定の周波数成分の強度の波長分散値に対するフィギュアを求め、該フィギュアによってチャージング・パラメタの符号を判別する機能を付加したことを特徴とする波長分散補償方式。

【請求項4】 請求項1記載の波長分散補償方式において、

請求項3記載の波長分散補償方式によって得られたチャージング・パラメタの符号により、伝送データの特定の周波数成分の強度が最大値になる波長分散値と伝送データの波形が最適になる波長分散値との差に等しい波長分散を有する波長分散付加素子の挿入箇所又は該波長分散付加素子の波長分散値の符号のいずれかを決定することを特徴とする波長分散補償方式。

【請求項5】 受信光信号を電気変換して得られる伝送データの特定の周波数成分の強度をモニタして波長分散可変素子の波長分散値を制御し、該受信光信号が光ファイバ伝送路中で受けた波長分散を補償する波長分散補償方式において、

伝送データの特定の周波数成分の強度を、伝送データの強度によって正規化する構成を備えることを特徴とする波長分散補償方式。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバ伝送路における波長分散による伝送波形劣化を改善する波長分散補償方式に係り、伝送データの波形が最適になる波長分散値を正確に検出することが可能な波長分散補償方式に関する。

【0002】光ファイバを伝送路に適用し、連続発振光信号を伝送データの符号によって強度変調して通信を行なう方式の光通信システムが実用化されてから久しく、該光通信システムの実用化当初は伝送データの速度が1.5メガ・ビット/秒(Mb/s: $M=10^6$)であったものが、最近では10ギガ・ビット/秒(Gb/s: $G=10^9$)にまで達している。

【0003】そして、インターネット等のマルチメディア伝送の需要伸長によるネットワーク利用量の急激な増加に伴い、複数の波長の光信号の各々を異なる伝送データによって強度変調して1芯の光ファイバ伝送路を利用して多重伝送する光波長多重伝送方式(WDM: Wavelength Division Multiplex)が実用化され、1波長当たりのデータ伝送速度が10Gb/sに達しており、又、1芯の光ファイバ伝送路上に多重化される波長の数も100のオーダーに達している。

【0004】しかし、将来のネットワーク利用量の増加を予測する時、1波長当たりのデータ伝送速度が10Gb/sで波長多重数が100オーダーの波長多重伝送方式による光通信システムにおいても伝送容量が不足することは必至で、1波長当たりのデータ伝送速度を40Gb/s程度以上に高速化する必要性が高くなっている。

【0005】さて、光ファイバ伝送路を使用した通信システムは、電気雑音に対する耐力が大きいという最大の特徴に加えて、伝送特性の観点からは

① 伝送損失が低く、長距離伝送が可能である。

【0006】② 所謂比帯域が極めて狭いこともあまって、電気通信でいう群遅延歪、即ち波長分散が小さく、波形劣化が少ない。という特徴を持っており、データ伝送速度が10Gb/s程度までは実質上伝送特性には問題はなかった。

【0007】しかし、データ伝送速度が40Gb/s程度以上に達すると、波長分散に対する波形伝送上の許容値が著しく小さくなり、例えばデータ伝送速度40Gb/sのNRZ (Non Return to Zero) 方式における波長分散の許容値は100ピコ秒/ナノ・メートル(ps/nm: $p=10^{-12}$ 、 $n=10^{-9}$)以下となる。

【0008】従って、光通信システムにおけるデータ伝送速度の一層の高速化のためには、十分な波長分散の補償技術が必須となる。

【0009】

【従来の技術】波長分散の補償方式で最も基本的な方式は、光ファイバ伝送路で生ずる波長分散と絶対値が等しく符号が異なる波長分散特性を呈する光ファイバによって、光ファイバ伝送路で生ずる波長分散を補償するものである。例えば、正の波長分散特性を有するシングル・モード・ファイバ(SMF: Single Mode Fiber)の波長分散を補償するには、負の波長分散特性を有する波長分散補償ファイバ(DCF: Dispersion Compensated Fiber)を用いて、双方の光ファイバの波長分散値の絶対値

が等しくなるように波長分散補償ファイバの長さを決定して、双方の光ファイバをタンデムに接続することによって波長分散を補償することができる。このようにして波長分散の補償を行なう方式を、固定波長分散補償方式と呼ぶことが多い。

【0010】しかし、光通信において波長分散の影響が問題にされていなかった時代に敷設されて現在も運用されている光ファイバ伝送路については、中継スパン（送信機と受信機間の距離、送信機と中継器間の距離、中継器と受信機間の距離）及び使用している光ファイバの波長分散値が正確に把握されていないことが多い。

【0011】例えば、波長1.3ミクロンにおいて波長分散値が0となり、 17ps/nm/km の波長分散値を持つシングル・モード・ファイバを光ファイバ伝送路に使用した場合、スパンに約6kmの誤差があれば波長分散は $17 \times 6 = 102\text{ps/nm}$ となり、波長分散の許容範囲を超える。

【0012】更に、波長分散値は光ファイバの温度や、光ファイバにかかる応力によっても変化する。このうち、光ファイバの温度変動による波長分散値の変動は、波長分散値が0となる波長（零分散波長）の温度係数、光ファイバ伝送路の温度変動、光ファイバ伝送路の波長分散スロープ、光ファイバ伝送路の長さの積で与えられる。

【0013】例えば、光ファイバとして分散シフト・ファイバ（DSF：Dispersion Shift Fiber）を使用するものとすれば零分散波長の温度係数は $0.03\text{ (nm/}^\circ\text{C)}$ 、光ファイバ伝送路の波長分散スロープは $0.07\text{ps/nm}^2/\text{km}$ であり、光ファイバ伝送路の敷設条件を空間懸架とすれば光ファイバ伝送路の温度変動は 100°C を想定する必要があるので、光ファイバ伝送路の長さを500kmと想定すれば、光ファイバ伝送路の温度変動による波長分散値の変動は 105ps/nm となり、データ伝送速度 40Gb/s のNRZ方式における波長分散の許容値を超える。

【0014】従って、光ファイバ伝送路長の誤差及び光ファイバの波長分散の温度特性によって、固定波長分散補償方式の適用には自ずから限界が生ずる。

【0015】固定波長分散補償方式における上記問題点を解決するには、光ファイバ伝送路の波長分散値又は波長分散補償後の残留波長分散値を常時測定し、測定値によって波長分散可変素子の波長分散値を所望の波長分散値に制御するという、波長分散モニタ型の波長分散補償方式が適している。

【0016】光ファイバ伝送路の波長分散値の測定方法としては、従来より、光パルスや複数の波長の光を光ファイバ伝送路に入力し、出力光に含まれる複数の波長の光の間の遅延時間差や位相差を測定するパルス法や位相法が提案されている。

【0017】しかし、これらの測定法を用いて、光通信

システムの運用中に通信品質に影響を与えることなく常時波長分散の測定を行なうためには、

① 各伝送区間毎に1組の波長分散測定器を準備する。

【0018】② 伝送データによって強度変調する光信号とは異なる波長の光信号を波長多重する。という必要性が生ずる。このため、光通信システムを構成する装置規模が大きくなり、光通信システムの経済性に問題が生ずる。

【0019】ここで、波長分散モニタ型の波長分散補償方式の上記問題点を解決するものとして報告されている波長分散モニタ型波長分散補償方式について説明する。

【0020】図16は従来の波長分散モニタ型波長分散補償方式の構成である。

【0021】図16において、1は、伝送データによって強度変調された光信号を送送する光ファイバ伝送路、2は、受信光信号が受けている波長分散を補償するための波長分散可変素子、3は、波長分散可変素子2の出力光を分岐する分波器、5は、分波器3が分岐した一部光信号を電気信号に変換する光・電気変換回路（図では光の略語Oと電気略語Eを用いて「O/E」と表記している。以降も、図においては同様に表記する。）、6は、光・電気変換回路5が出力する電気信号（これは、とりもなおさず伝送データである。）の特定の周波数成分を通過させる帯域通過フィルタ（図ではBand Pass Filterの頭文字による略語によって「BPF」と表記している。以降も、図においては同様に表記する。）、7は、帯域通過フィルタ6の出力信号のレベルを測定するパワー・センサ（図では「パワー・センサ」の「・」を省略して表記している。以降も、図では同様に表記する。）、8は、パワー・センサ7が出力するアナログ信号をデジタル信号に変換するアナログ・デジタル変換回路（図ではAnalogのAとDigitalのDを用いた略語によって「A/D」と表記している。以降も、図では同様に表記する。）、9は、アナログ・デジタル変換回路8の出力を用いて波長分散可変素子の波長分散値を制御する制御回路である。

【0022】ここで、波長分散可変素子2としては、コアに回折格子を形成された光ファイバ・グレイティングやVIPA（Virtually Imaged Phased Array）を使用することができ、前者の場合には光ファイバに印加する温度や応力の制御によって、後者の場合にはVIPAを構成するVIPA板と反射鏡間の距離の制御によって波長分散値を可変にすることができる。

【0023】又、帯域通過フィルタ6の通過周波数は、伝送データの速度を示すクロックの基本周波数に設定される。例えば、伝送データの速度が 40Gb/s の場合には、通過周波数は40ギガ・ヘルツ（GHz）である。

【0024】更に、アナログ・デジタル変換回路8を使用するのは、制御回路として中央制御ユニット（CP

U)を適用するデジタル型の制御回路を適用することを想定しているためであるが、アナログ値で負帰還をかけるアナログ型の制御回路を適用することも可能で、アナログ型の制御回路を適用する場合にはアナログ・デジタル変換回路8は不要になる。

【0025】尚、分波器3は、波長分散可変素子の出力光のパワーの大部分を波長分散補償後の光信号として後段の主信号系の回路に供給し、波長分散可変素子の出力光のパワーの一部を光・電気変換回路5に供給する。

【0026】図17は、図16の構成における残留波長分散値と抽出特定周波数成分の強度の関係(その1)、図18は、図16の構成における残留波長分散値と抽出特定周波数成分の強度の関係(その2)で、アイ開口ペナルティも併せて図示している。

【0027】尚、いずれも図16のアナログ・デジタル変換回路8と制御回路9との間を切り離した状態で波長分散可変素子2の波長分散値を制御することを想定してシミュレーションによって求めたもので、伝送データの特定周波数成分の強度はパワー・センサ7の出力点で求めればよく、アイ開口ペナルティは分波器3の後段の主信号系側で求めればよい。

【0028】そして、伝送データの特定周波数成分の強度をパワー・センサ7の出力点で求めればよいという意味で、本明細書においては、図16の構成における分波器3の一方の出力からアナログ・デジタル変換回路8迄によって構成される部分を波長分散モニタ部と呼ぶことがある。

【0029】ここで、図17は、伝送データの速度が40Gb/sで符号形式がNRZ、光ファイバ伝送路に使用する光ファイバが分散シフト・ファイバ、チャーピング・パラメタ α が-0.7(以降は、「 α パラメタ」と略記する。)、光伝送路の伝送距離が100km、送信光信号のパワーが0dBm(dBmは、1mWを基準にしたパワーを底10で対数化して、10を乗じたパワーの単位である。今の場合、0dBmであるから送信パワーは1mWである。)の場合を示し、図18は、伝送データの速度が40Gb/sで符号形式がNRZ、光ファイバ伝送路に使用する光ファイバがシングル・モード・ファイバ、 α パラメタが+0.7、伝送距離が100km、送信光信号のパワーが5dBmの場合を示し、いずれの図においても、図中実線が40GHz成分の強度(図においては、英語で「40GHz Intensity」と表記している。以降も、図では同様に表記する。)、破線がアイ開口ペナルティ(図では、英語で「Eye Opening Penalty」と表記している。以降も、図では同様に表記する。)である。

【0030】そして、いずれの図においても、横軸は残留波長分散値(図においては、英語で「Residual Dispersion」と表記している。以降も、図では同様に表記する。)で、単位はps/nmである。縦軸は、左側が4

0GHz成分の強度、右側がアイ開口ペナルティで、単位は、前者は任意単位(図では、「arb.unit」と表記している。以降も、図では同様に表記する。)、後者はdBである。尚、以降において参照する同様な図における表示内容、縦軸及び横軸は全て上記と同様である。

【0031】ここで、図17及び図18から、アイ開口ペナルティが残留波長分散値によって変化し、残留波長分散値が0の時にアイ開口ペナルティがほぼ0dBになることが判る。これは、基本的には残留波長分散値が0の時に波形劣化が最少になるべきことを明瞭に表わしている。

【0032】同時に、残留波長分散値によって40GHz成分の強度が変化し、残留波長分散値が0の時に40GHz成分の強度が0になることが判る。これは重要なことで、40GHz成分の強度によって残留波長分散値の0点を検出して波長分散可変素子の波長分散値を制御すれば、光ファイバ伝送路における波長分散を補償できることを示している。

【0033】しかも、40GHz成分の強度さえ判れば光ファイバ伝送路における波長分散を補償できるので、波長分散補償方式の構成が簡易でよいという大きな利点がある。

【0034】

【発明が解決しようとする課題】しかし、図17及び図18に共通に、40GHz成分の強度はリップルをうっており、40GHz成分の強度は残留波長分散値が0でない点でも多数の点で0になると共に、多数の点で極大値となることが判る。

【0035】又、図17の場合には、残留波長分散値が0から-50ps/nmの範囲で40GHz成分の強度が殆ど変化せず、図18の場合には、残留波長分散値が0から+50ps/nmの範囲で40GHz成分の強度が殆ど変化せず、40GHz成分の強度の0点を判別することが困難であることが判る。

【0036】従って、単純に40GHz成分の強度が0になる点を検出して残留波長分散値が0の点であると判断することは危険である。

【0037】さて、 α パラメタは光通信システムの特性を左右する重要なファクタで、例えば、 α パラメタの符号によって伝送波形の半値幅が変化する方向が逆になる。従って、 α パラメタの符号によって光受信機における調整が異なることがあるので、 α パラメタの符号の識別が重要である。

【0038】本発明は、かかる問題点に鑑み、伝送データの波形が最適になる波長分散値を正確に検出して波長分散の補償を正確に行なう波長分散補償方式を提供することを第一の目的とし、 α パラメタの符号情報を利用したり、 α パラメタの符号を自動判別して波長分散の補償を正確に行なう波長分散補償方式を提供することを第二の目的とし、 α パラメタの符号を自動判別した結果に整

合する波長分散付加素子を挿入する波長分散補償方式を提供することを第三の目的とし、更に、残留波長分散の0値以外を検出して波長分散の補償を正確に行なう波長分散補償方式を提供し、波長分散補償方式の技術範囲を広げることが第四の目的とする。

【0039】

【課題を解決するための手段】第一の発明は、受信光信号を電気変換して得られる伝送データの特定の周波数成分の強度をモニタして波長分散可変素子の波長分散値を制御し、該受信光信号が光ファイバ伝送路中で受けた波長分散を補償する波長分散補償方式において、伝送データの特定の周波数成分の強度が最大値になる波長分散値と伝送データの波形が最適になる波長分散値との差に等しい波長分散を有する波長分散付加素子を、伝送データの特定の周波数成分の強度をモニタする側又は伝送データを出力する側のいずれかに挿入する波長分散補償方式の技術である。

【0040】伝送データの波形が最適になる波長分散値は伝送データの特定周波数成分の強度が継続的に小さい範囲にあって正確な検出が困難であるのに対して、伝送データの特定周波数成分の強度が最大値となる波長分散値は検出が容易である。その上、伝送データの特定周波数成分の強度が最大値となる波長分散値と伝送データの波形が最適になる波長分散値との差は容易に知ることができる。従って、第一の発明によれば、検出が容易な伝送データの特定周波数成分の最大値を検出して、当該最大値となる波長分散値を基準として波長分散の補償を行なえばよく、正確に波長分散を補償することができる。

【0041】第二の発明は、第一の発明の波長分散補償方式において、 α パラメタの符号情報を与え、モニタして得られた伝送データの特定の周波数成分の強度の波長分散値に対するフィギュアとを比較して波長分散の補償を行なう波長分散補償方式の技術である。

【0042】伝送データの特定の周波数成分の強度の波長分散値に対するフィギュアは、 α パラメタの符号と一義的な関係にある。従って、第二の発明によれば、伝送データの特定の周波数成分の強度が最大値となる波長分散値を正確に検出することができる。

【0043】第三の発明は、第一の発明の波長分散補償方式において、光通信システムの初期設定時に波長分散可変素子に与える波長分散値の制御量をスweepして伝送データの特定の周波数成分の強度の波長分散値に対するフィギュアを求め、該フィギュアによって α パラメタの符号を判別する機能を付加された波長分散補償方式の技術である。

【0044】波長分散可変素子の波長分散値をスweepして伝送データの特定の周波数成分の強度の波長分散値に対するフィギュアは、 α パラメタの符号と一義的な関係にある。従って、第三の発明によれば、得られたフィギュアによって α パラメタの符号を判別することがで

き、判別した α パラメタの符号を利用して伝送データの特定の周波数成分の強度が最大値となる波長分散値を正確に検出することができる。

【0045】第四の発明は、第三の発明によって得られた α パラメタの符号によって、伝送データの特定の周波数成分の強度が最大値になる波長分散値と伝送データの波形が最適になる波長分散値との差に等しい波長分散を有する波長分散付加素子の挿入箇所又は該波長分散付加素子の波長分散値の符号のいずれかを決定する波長分散補償方式の技術である。

【0046】第四の発明によれば、光ファイバ伝送路に使用されている光ファイバの種類を予め知らない場合にも、所望の波長分散値を有する波長分散付加素子を光ファイバの種類に整合させて挿入することが可能になる。

【0047】第五の発明は、受信光信号を電気変換して得られる伝送データの特定の周波数成分の強度をモニタして波長分散可変素子の波長分散値を制御し、該受信光信号が光ファイバ伝送路中で受けた波長分散を補償する波長分散補償方式において、伝送データの特定の周波数成分の強度を、伝送データの強度によって正規化する構成を備える波長分散補償方式の技術である。

【0048】伝送データの特定の周波数成分の強度は変動要因の変動によって変化するが、伝送データの強度が変動要因の変動に伴って変化する率と等しいので、正規化することによって変動要因の変動の影響を相殺することができる。従って、第五の発明によれば、伝送データの特定の周波数成分の強度の最大値を含むピークの傾斜部分の波長分散値を基準にして波長分散の補償を行なうことが可能になる。傾斜部分では伝送データの特定の周波数成分の強度の変化率が大きいので、波長分散の補償を更に正確に行なうことができる。

【0049】

【発明の実施の形態】以降、発明の実施の形態を表わす構成図及び発明の実施の形態毎の動作を示す図を参照して本発明の技術を具体的に説明するが、その前に、種々の光ファイバについて残留波長分散値に対する伝送データの特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティを示し、それらの間には特有の関係があることを示す。

【0050】図19乃至図21は、分散シフトファイバの、残留波長分散値に対する伝送データの特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティで、 α パラメタ0.7、伝送距離100kmで伝送速度40Gb/sのNRZ符号伝送を行なう時の特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティで、図19は送信パワーが0dBmの場合、図20は送信パワーが5dBmの場合、図21は送信パワーが10dBmの場合である。

【0051】又、図22乃至図24は、ノン・ゼロ分散シフト・ファイバの、残留波長分散値に対する伝送データの特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティで、 α パラメタ0.7、伝送距離100kmで伝送速

度40Gb/sのNRZ符号伝送を行なう時の特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティで、図22は送信パワーが0dBmの場合、図23は送信パワーが5dBmの場合、図24は送信パワーが10dBmの場合である。

【0052】更に、図25乃至図27は、シングル・モード・ファイバの、残留波長分散値に対する伝送データの特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティで、 α パラメタ+0.7、伝送距離100kmで伝送速度40Gb/sのNRZ符号伝送を行なう時の特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティで、図25は送信パワーが0dBmの場合、図26は送信パワーが5dBmの場合、図27は送信パワーが10dBmの場合である。

【0053】尚、いずれも伝送速度は40Gb/sであるので、伝送データの特定の周波数成分として抽出されるのは40GHzである。

【0054】図19乃至図24を見ると、光ファイバの種類と送信パワーが違ってても、40GHz成分の強度はかなり一致していることが判る。一方、アイ開口ペナルティは光ファイバの性質及び送信パワーによって異なる特性であることが判る。

【0055】これを更に詳しく見ると、

㊶ 40GHz成分の強度は、光ファイバと送信パワーが違ってても、残留波長分散値がほぼ40ps/nm付近で最大値となる。

【0056】㊷ 光ファイバの種類と送信パワーが違ってても、40GHz成分の強度は、残留波長分散値が0から-50ps/nmの範囲で他の範囲より変化が少なく、特に、送信パワーが5dBm程度までは残留波長分散値が0から-50ps/nmの範囲で殆ど変化せず、残留波長分散値が0の時にほぼ0となる。

【0057】㊸ 送信パワーが5dBm程度までは、残留波長分散値が0ps/nm付近でアイ開口ペナルティが0dBとなるが、送信パワーが10dBm程度になるとアイ開口ペナルティの最適点は残留波長分散値の0からずれる。ことが判る。

【0058】又、図25乃至図27を見ると、この場合にも、送信パワーが違ってても、40GHz成分の強度はかなり一致していることが判る。一方、アイ開口ペナルティは光ファイバ及び送信パワーによって異なる特性であることが判る。

【0059】これを更に詳しく見ると、

㊹ 40GHz成分の強度は、送信パワーが違ってても、残留波長分散値がほぼ-40ps/nm付近で最大値となる。

【0060】㊺ 送信パワーが違ってても、40GHz成分の強度は、残留波長分散値が0から+50ps/nmの範囲で殆ど変化せず、残留波長分散値が0の時にほぼ0となる。

【0061】これらを総合すると、次の結論を得る。

【0062】(1) α パラメタが負の時には、40GHz成分の強度は残留波長分散値が約40ps/nmの時に最大値となり、該最大値を含むピークの左側(残留波長分散値が小さい側)に40GHz成分の強度が連続的に小さい範囲があり、 α パラメタが正の時には、40GHz成分の強度は残留波長分散値が約-40ps/nmの時に最大値となり、該最大値を含むピークの右側(残留波長分散値が大きい側)に40GHz成分の強度が連続的に小さい範囲がある。しかも、送信パワーが比較的低い場合には、残留波長分散値が0になる点でアイ開口ペナルティが0dBになる。

【0063】上記事項は、アイ開口ペナルティの0dB点を検出するのに基本的には残留波長分散値の0値を検出すればよく、このためには、40GHz成分の強度が最大値となる残留波長分散値を検出して α パラメタの正負に応じて40GHz成分の強度が最大値となる残留波長分散値の左右に所定の波長分散値だけシフトすればよいことを示唆している。

【0064】上記のシミュレーション結果に準拠すると、40GHz成分の強度が最大値となる残留波長分散値を検出し、 α パラメタの正負に応じて40GHz成分の強度が最大値となる残留波長分散値の左右に40ps/nmシフトすればよい。

【0065】上記の如く、アイ開口ペナルティの最適点の検出を40GHz成分の強度の検出によって替え得ることは極めて重要なことである。

【0066】(2) 送信パワーが高い時には、残留波長分散値の0値とアイ開口ペナルティが最適になる残留波長分散値は必ずしも一致しなくなる傾向が見られることがあるが、アイ開口ペナルティが最適になる残留波長分散値を求めておけば、アイ開口ペナルティの最適点を検出するのに40GHz成分の強度が最大値となる残留波長分散値を検出して、 α パラメタの正負に応じて40GHz成分の強度が最大値となる残留波長分散値の左右に、アイ開口ペナルティが最適になる残留波長分散値で補正してシフトすればよいことを示唆している。

【0067】上記のシミュレーション結果に準拠すると、アイ開口ペナルティが0dBになる残留波長分散値をaとすれば、40GHz成分の強度が最大値となる残留波長分散値を検出して α パラメタの正負に応じて40GHz成分の強度が最大値となる残留波長分散値の左右に(40-a)ps/nmシフトすればよい。

【0068】いずれにしても、40GHz成分が最大値となる残留波長分散値を基準にして、 α パラメタの正負に応じて40GHz成分が最大値となる残留波長分散値の左右に所望の残留波長分散値だけシフトすれば、波長分散を補償しながら伝送波形を最適波形にすることができ。

【0069】そして、一般的には、伝送データの特定の

周波数成分が最大値となる残留波長分散値を基準にして、 α パラメタの正負に応じて伝送データの特定の周波数成分が最大値となる残留波長分散値の左右に所望の残留波長分散値だけずらせば、波長分散を補償しながら伝送波形を最適波形にすることができるということがいえる。

【0070】図1は、第一の発明の波長分散補償方式の構成(その1)である。

【0071】図1において、1は、伝送データによって強度変調された光信号を送信する光ファイバ伝送路、2は、受信光信号が受けている波長分散を補償するための波長分散可変素子、3は、波長分散可変素子2の出力光を分岐する分波器、4は、分波器3が分岐した光信号に対して所望の波長分散値を与える波長分散付加素子、5は、波長分散付加素子4の出力を電気信号に変換する光・電気変換回路、6は、光・電気変換回路5が出力する伝送データの特定の周波数成分を通過させる帯域通過フィルタ、7は、帯域通過フィルタ6の出力信号のレベルを測定するパワー・センサ、8は、パワー・センサ7の出力をデジタル信号に変換するアナログ・デジタル変換回路、9は、アナログ・デジタル変換回路8の出力を用いて波長分散可変素子2の波長分散値を制御する制御回路である。

【0072】尚、波長分散可変素子2として使用できる素子と波長分散の制御手段、帯域通過フィルタ6の通過周波数の設定、制御回路の形式とアナログ・デジタル変換回路の要否、分波器3における分岐比については、図16の従来の波長分散補償方式と同様である。

【0073】ここで、図1の構成の特徴は、図16の構成の波長分散モニタ部に波長分散付加素子4を挿入し、分波器3が分岐した光信号に対して所望の波長分散値を与え、伝送データの特定の周波数成分が最大値となる波長分散値を基準に波長分散可変素子2の波長分散値を制御して、伝送データの波形の最適値に制御する点にある。

【0074】具体的には、図19、図20及び図22、図23に示したように、 α パラメタが負で、送信パワーが比較的低い場合には、伝送データの特定の周波数成分(上記の例の場合には40GHz成分)が最大値となる残留波長分散値は約+40ps/nmであるので、波長分散付加素子4の波長分散値を約+40ps/nmに設定すれば、40GHz成分が最大値となる残留波長分散値がアイ開口ペナルティが0dBになる点(最適点)に一致するので、40GHz成分が最大値を検出して制御回路9によって波長分散可変素子2の波長分散値を制御することによって、波長分散を補償しながら伝送波形を最適波形にすることができる。

【0075】又、図21及び図24に示したように、 α パラメタが負で、送信パワーが比較的高い場合には、アイ開口ペナルティの最適点が残留波長分散値の正側にシフトするので、このシフト量を a とする時、波長分散付

加素子4の波長分散値を約 $(40-a)$ ps/nmに設定すれば、40GHz成分が最大値となる残留波長分散値がアイ開口ペナルティの最適点に一致するので、やはり、40GHz成分の最大値を検出して制御回路9によって波長分散可変素子2の波長分散値を制御することによって、波長分散を補償しながら伝送波形を最適波形にすることができる。

【0076】一方、図25乃至図27に示したように、 α パラメタが正の場合には、伝送データの40GHz成分が最大値となる残留波長分散値は約-40ps/nmであるので、波長分散付加素子4の波長分散値を約-40ps/nmに設定すれば、40GHz成分が最大値となる残留波長分散値がアイ開口ペナルティの最適点に一致するので、40GHz成分が最大値を検出して制御回路9によって波長分散可変素子2の波長分散値を制御することによって、波長分散を補償しながら伝送波形を最適波形にすることができる。

【0077】さて、上記では伝送データの40GHz成分の最大値を検出して、それを基準にアイ開口ペナルティの最適点を検出する技術のみに着目して記載しているが、40GHz成分の最大値を含むピークの傾斜部の特定の値を基準にしてアイ開口ペナルティの最適点を検出する技術も可能である。

【0078】これを行なうには他の技術も併用することが望ましいので、詳細には第五の発明の説明において改めて説明する。尚、40GHz成分の最大値を含むピークの傾斜部の特定の値を基準にしてアイ開口ペナルティの最適点を検出する技術は以降に説明する発明にも適用可能なことは容易に理解できる。

【0079】図2は、第一の発明の波長分散補償方式の構成(その2)である。

【0080】図2において、1は、伝送データによって強度変調された光信号を送信する光ファイバ伝送路、2は、受信光信号が受けている波長分散を補償するための波長分散可変素子、3は、波長分散可変素子2の出力光を分岐する分波器、4aは、分波器3が分岐した光信号に対して所望の波長分散値を与える波長分散付加素子、5は、分波器3が分岐した一部光信号を電気信号に変換する光・電気変換回路、6は、光・電気変換回路5が出力する伝送データの特定の周波数成分を通過させる帯域通過フィルタ、7は、帯域通過フィルタ6の出力信号のレベルを測定するパワー・センサ、8は、パワー・センサ7の出力をデジタル信号に変換するアナログ・デジタル変換回路、9は、アナログ・デジタル変換回路8の出力を用いて波長分散可変素子2の波長分散値を制御する制御回路である。

【0081】尚、波長分散可変素子2として使用できる素子と波長分散の制御手段、帯域通過フィルタ6の通過周波数の設定、制御回路の形式とアナログ・デジタル変換回路の要否、分波器3における分岐比については、既

に行なった説明と同様である。

【0082】ここで、図2の構成の特徴は、図16の構成の分波器3の出力側に波長分散付加素子4aを挿入して、分波器3が分岐した光信号に対して所望の波長分散値を与えることによって伝送データの波形の最適点に制御できる点にある。

【0083】そして、図2の構成の場合には、波長分散付加素子4aに設定する波長分散値は、図1の構成の場合と絶対値が同じで符号が異なる波長分散値にすればよい。これによって、図1の構成と同様に、40GHz成分の最大値を検出して制御回路9によって波長分散可変素子2の波長分散値を制御することによって、波長分散を補償しながら伝送波形を最適波形にすることができる。

【0084】図3は、第二の発明の波長分散補償方式の構成である。

【0085】図3において、1は、伝送データによって強度変調された光信号を伝送する光ファイバ伝送路、2は、受信光信号が受けている波長分散を補償するための波長分散可変素子、3は、波長分散可変素子2の出力光を分岐する分波器、4は、分波器3が分岐した光信号に対して所望の波長分散値を与える波長分散付加素子、5は、波長分散付加素子4の出力を電気信号に変換する光・電気変換回路、6は、光・電気変換回路5が出力する伝送データの特定の周波数成分を通過させる帯域通過フィルタ、7は、帯域通過フィルタ6の出力信号のレベルを測定するパワー・センサ、8は、パワー・センサ7の出力をデジタル信号に変換するアナログ・デジタル変換回路、9aは、アナログ・デジタル変換回路8の出力と共に外部から与えられる α パラメタの符号情報を用いて波長分散可変素子2の波長分散値を制御する制御回路である。

【0086】尚、波長分散可変素子2として使用できる素子と波長分散の制御手段、帯域通過フィルタ6の通過周波数の設定、制御回路の形式とアナログ・デジタル変換回路の要否、分波器3における分岐比については、既に説明した通りである。

【0087】ここで、図3の構成の特徴は、図1の構成における制御回路に対して α パラメタの符号情報を与えて、伝送データの特定周波数成分の最大値の誤検出を防止すると共に、伝送データの特定周波数成分の最大値の検出時間を短縮する点にある。

【0088】図4は、 α パラメタの違いによる伝送データの特定周波数成分の違いを示す図である。これは、既出の図に新たな符号を記入して α パラメタの違いによる伝送データの特定周波数成分の違いを判り易くしたもので、図4(イ)は、正の α パラメタでシングル・モード・ファイバを使用する場合、図4(ロ)は、負の α パラメタでノン・ゼロ分散シフト・ファイバを使用する場合である。尚、図4の場合には伝送データの特定周波数成分

は40GHz成分である。

【0089】図4(イ)から明らかなように、 α パラメタが正の時には、40GHz成分は約 -40ps/nm で最大値①となり、該最大値①を含むピークの右側(波長分散値が大きい側)に40GHz成分の強度が連続的にほぼ0になる範囲②が存在する。

【0090】一方、図4(ロ)から明らかなように、 α パラメタが負の時には、40GHz成分は約 $+40\text{ps/nm}$ で最大値③となり、該最大値③を含むピークの左側(波長分散値が小さい側)に40GHz成分の強度が連続的にほぼ0になる範囲④が存在する。

【0091】図5は、上記事実を利用した、伝送データの特定周波数成分の最大値の誤検出を防止するための考え方を示す図で、 α パラメタ -0.7 でノン・ゼロ分散シフト・ファイバを使用した100kmの光ファイバ伝送路で40Gb/sのNRZ符号伝送を送信パワー5dBmで行なう場合の40GHz成分の強度を例に示している。尚、図5は、図1の構成における残留波長分散値と40GHz成分の強度の関係を示しており、図4は、図16の構成における残留波長分散値と40GHz成分の強度の関係を示しているので注意されたい。

【0092】 α パラメタが負であるので、40GHz成分の強度が連続的にほぼ0である範囲⑤の右端から約 $+40\text{ps/nm}$ の位置で40GHz成分の強度が最大値⑥となる。

【0093】ところで、40GHz成分が最大値以外の極大値となる残留波長分散値は多数あり、極大値⑦もその1つである。しかし、極大値⑦は40GHz成分の強度がほぼ0である範囲⑥の左側(残留波長分散値が小さい側)にあり、最大値⑥とほぼ0である範囲⑥との関係とは違う。又、符号を付していない他の極大値については、その近傍にほぼ0である範囲⑥が存在しない。

【0094】即ち、光受信機の初期設定時に波長分散可変素子に与える制御量をスイープして得られる40GHz成分の強度特性の形状によって40GHz成分のフィギュアを認識することができるので、この結果と制御回路9に与えられた α パラメタ情報と比較することにより、40GHz成分の最大値を誤検出することを防止することができる。

【0095】又、上記事実を利用することによって、40GHz成分の最大値を検出するためのスイープ範囲を狭めることができる。即ち、残留波長分散値が負の側からスイープを開始する場合、 α パラメタが正の場合には40GHz成分が極大値となった後にほぼ0である範囲を検出したらスイープを終了してよく、 α パラメタが負の場合には40GHz成分が連続的にほぼ0になった後に極大値(これが最大値である。)を検出したらスイープを終了してよいからである。

【0096】又、残留波長分散値が正の側からスイープを開始する場合にも、40GHz成分がほぼ0である範

囲とそれに連なる極大値（これが最大値である。）の検出順序が上記とは逆になるが、40GHz成分の最大値を検出するためのスイープ範囲を狭めることができることは全く同じである。

【0097】さて、図3の構成は、図1の構成において制御回路に α パラメタ情報を与えるものであるが、図2の構成において制御回路に α パラメタ情報を与えることも可能である。ただ、この場合には、分波器の主信号出力側に挿入する波長分散付加素子の波長分散値は図3の構成の場合と絶対値が同じで符号が異なる波長分散値とすることがある。

【0098】図6は、第三の発明の波長分散補償方式の構成である。

【0099】図6において、1は、伝送データによって強度変調された光信号を伝送する光ファイバ伝送路、2は、受信光信号が受けている波長分散を補償するための波長分散可変素子、3は、波長分散可変素子2の出力光を分岐する分波器、4は、分波器3が分岐した光信号に対して所望の波長分散値を与える波長分散付加素子、5は、波長分散付加素子4の出力を電気信号に変換する光・電気変換回路、6は、光・電気変換回路5が出力する伝送データの特定の周波数成分を通過させる帯域通過フィルタ、7は、帯域通過フィルタ6の出力信号のレベルを測定するパワー・センサ、8は、パワー・センサ7の出力をデジタル信号に変換するアナログ・デジタル変換回路、9aは、アナログ・デジタル変換回路8の出力を用いて波長分散可変素子2の波長分散値を制御すると共にアクファパラメタの符号を自動判別する制御回路である。

【0100】尚、波長分散可変素子2として使用できる素子と波長分散の制御手段、帯域通過フィルタ6の通過周波数の設定、制御回路の形式とアナログ・デジタル変換回路の要否、分波器3における分岐比については、既に説明した通りである。

【0101】ここで、図6の構成の特徴は、図1の構成における制御回路に対して α パラメタ情報を自動判別する機能を付加して、伝送データの特定周波数成分の最大値の誤検出を防止すると共に、伝送データの特定周波数成分の最大値の検出時間を短縮する点にある。

【0102】既に図4によって説明したように、 α パラメタが正の時には、40GHz成分は約 -40ps/nm で最大値となり、該最大値を含むピークの右側（波長分散値が大きい側）に40GHz成分の強度がほぼ0になる範囲が存在する。

【0103】一方、 α パラメタが負の時には、40GHz成分は約 $+40\text{ps/nm}$ で最大値となり、該最大値を含むピークの左側（波長分散値が小さい側）に40GHz成分の強度がほぼ0になる範囲が存在する。

【0104】そして、上記事実は光ファイバの種類によらないので、上記事実を利用すれば α パラメタの符号を

自動判別することができる。

【0105】図7は、図6の構成における α パラメタ情報の自動判別の別の考え方を説明する図で、既出の α パラメタが正の場合の伝送データの特定の周波数成分（ここでは40GHz成分）の強度特性に説明を加えたものである。

【0106】図7の例は、 α パラメタが負であるので、40GHz成分の最大値は残留波長分散値が約 $+40\text{ps/nm}$ の点に存在し、最大値を含むピークのすぐ左側に40GHz成分の強度が連続的にほぼ0の範囲が存在する。

【0107】そして、40GHz成分の強度が最大値となる波長分散に約 70ps/nm を加算した、残留波長分散値が約 110ps/nm の点に次の極大値が存在し、40GHz成分の強度が最大値となる波長分散値から約 70ps/nm を減算した、残留波長分散値が約 -30ps/nm の点は40GHz成分の強度が連続的にほぼ0である範囲の中にある。つまり、残留波長分散値が 110ps/nm における40GHz成分の強度は、残留波長分散値が -30ps/nm における40GHz成分の強度より大きく、こういう関係になるのは α パラメタが負である場合に限られる。

【0108】図示はしないが、 α パラメタが正の時には、残留波長分散値が -110ps/nm における40GHz成分の強度は、残留波長分散値が $+30\text{ps/nm}$ における40GHz成分の強度より大きく、こういう関係になるのは α パラメタが正である場合に限られる。

【0109】即ち、上記事実を利用すれば光ファイバの α パラメタの符号を正確に自動判別することが可能である。

【0110】図8は、 α パラメタの自動判別の具体的手法を説明する図（その1）、図9は、 α パラメタの自動判別の具体的手法を説明する図（その2）である。

【0111】自動判別の手順は概ね次の通りである。

【0112】S1. 図16の構成で、アナログ・デジタル変換回路8と制御回路9の接続を切り離した状態で、制御回路9の制御量を正負いずれかの最大値に設定する。以降の説明では、負の最大値に設定する場合について説明する。

【0113】S2. 制御回路9の制御量を所定のステップでスイープしながら、図16の構成におけるパワー・センサの出力、即ち、伝送データの特定の周波数成分（図8の場合には40GHz成分）の強度の変化を記録する。

【0114】S3. 40GHz成分の最大値を検出したら、40GHz成分が最大値であった残留波長分散値より約 100ps/nm 大きい残留波長分散値でスイープを終了する。

【0115】これは、 α パラメタが正の場合には40GHz成分が最大値であった残留波長分散値より約 100

ps/nm大きい残留波長分散値において、40GHz成分の強度が継続的に小さい範囲①を過ぎており、 α パラメタが負の場合には40GHz成分が最大値であった残留波長分散値より約100ps/nm大きい残留波長分散値において、40GHz成分の強度の次の極大値⑤を過ぎていたので、比較すべきデータを収集し終えているからである。

【0116】S4. 40GHz成分が最大値となる残留波長分散値の左右に所定の残留波長分散値をシフトした二点における40GHz成分の強度を比較する。

【0117】具体的には、上述した如く、40GHz成分が最大値となる残留波長分散値 ± 70 ps/nmの点における40GHz成分の強度を比較する。

【0118】図8の場合には、残留波長分散値が②と③における40GHz成分の強度を比較するが、この場合には最大値となる残留波長分散値より左の②における強度が③における強度より大きくなるので、既に説明した事実によって α パラメタが正であると判別できる。

【0119】一方、図9の場合には、残留波長分散値が④と⑤における40GHz成分の強度を比較するが、この場合には最大値となる残留波長分散値の右の⑤における強度が④における強度より大きくなるので、既に説明した事実によって α パラメタが負であると判別できる。

【0120】これで、 α パラメタの符号を知ることができたので、知り得た α パラメタの符号に対応する波長分散値を有する波長分散付加素子を波長分散モニタ側に挿入すればよい。

【0121】ここで、図6の構成は図1の構成に第三の発明を適用したものであるが、図2の構成に第三の発明を適用することも当然可能である。

【0122】さて、上記の構成は α パラメタの符号を知ってからそれに対応する波長分散付加素子を波長分散モニタ側又は出力側に挿入する物であるが、 α パラメタの符号の判別結果に整合するように、所要の波長分散を付加する構成も可能である。

【0123】図10は、第四の発明の波長分散補償方式の構成(その1)で、図1の構成を基本にする物である。

【0124】図10において、1は、伝送データによって強度変調された光信号を送信する光ファイバ伝送路、2は、受信光信号が受けている波長分散を補償するための波長分散可変素子、3は、波長分散可変素子2の出力光を分岐する分波器、4は、分波器3が分岐した光信号に対して所望の波長分散値を与える波長分散付加素子、5は、波長分散付加素子4の出力を電気信号に変換する光・電気変換回路、6は、光・電気変換回路5が出力する伝送データの特定の周波数成分を通過させる帯域通過フィルタ、7は、帯域通過フィルタ6の出力信号のレベルを測定するパワー・センサ、8は、パワー・センサ7の出力をデジタル信号に変換するアナログ・デジタル変

換回路、9cは、アナログ・デジタル変換回路8の出力を用いて波長分散可変素子2の波長分散値を制御すると共に、 α パラメタの符号を自動判別し、自動判別した α パラメタによって波長分散付加素子を所定の位置に挿入する制御回路、10乃至10gは制御回路9cが出力する切替信号によって切り替えられる光スイッチである。

【0125】尚、波長分散可変素子2として使用できる素子と波長分散の制御手段、帯域通過フィルタ6の通過周波数の設定、制御回路の形式とアナログ・デジタル変換回路の要否、分波器3における分岐比については、既に説明した通りである。

【0126】ここで、図10の構成の特徴は、 α パラメタの符号を判別した制御回路9bが出力する切替信号によって光スイッチを切り替えて、波長分散付加素子を α パラメタの符号に応じて波長分散モニタ側又は出力側の一方に挿入できるようにした点にある。

【0127】光スイッチ10乃至10gは、全て切替信号の同一論理レベルでp-q間又はp-r間の一方を選択するように設定する。これにより、p-q間が選択されれば、波長分散付加素子4は波長分散モニタ側に挿入されることになり、p-r間が選択されれば、波長分散付加素子4は出力側に挿入されることになる。

【0128】従って、切替信号の論理レベルを α パラメタの符号によって決めておけば、波長分散付加素子を適性な位置に挿入することができる。

【0129】尚、波長分散付加素子としては、既に説明したように、分散付加ファイバ、光ファイバ・グレイティング、VIPAを使用することができる。

【0130】図11は、第四の発明の波長分散補償方式の構成(その2)で、図1の構成を基本にし、正及び負の波長分散を有する波長分散付加素子を用いる物である。

【0131】図11において、1は、伝送データによって強度変調された光信号を送信する光ファイバ伝送路、2は、受信光信号が受けている波長分散を補償するための波長分散可変素子、3は、波長分散可変素子2の出力光を分岐する分波器、4bは、分波器3が分岐した光信号に対して正の波長分散値を与える波長分散付加素子(「正の波長分散付加素子」と呼ぶことにする。)、4cは、分波器3が分岐した光信号に対して負の波長分散値を与える波長分散付加素子(「負の波長分散付加素子」と呼ぶことにする。)、5は、波長分散付加素子4b又は4cの出力を電気信号に変換する光・電気変換回路、6は、光・電気変換回路5が出力する伝送データの特定の周波数成分を通過させる帯域通過フィルタ、7は、帯域通過フィルタ6の出力信号のレベルを測定するパワー・センサ、8は、パワー・センサ7の出力をデジタル信号に変換するアナログ・デジタル変換回路、9cは、アナログ・デジタル変換回路8の出力を用いて波長分散可変素子2の波長分散値を制御すると共に、 α パラ

メタを自動判別して自動判別した α パラメタによって所定の符号の波長分散を呈する波長分散付加素子を選択する制御回路、10及び10aは制御回路9bが出力する切替信号によって切り替えられる光スイッチである。

【0132】尚、波長分散可変素子2として使用できる素子と波長分散の制御手段、帯域通過フィルタ6の通過周波数の設定、制御回路の形式とアナログ・デジタル変換回路の要否、分波器3における分岐比については、既に説明した通りである。

【0133】ここで、図11の構成の特徴は、 α パラメタの符号を判別した制御回路9bが出力する切替信号によって光スイッチを切り替えて、正の波長分散付加素子又は負の波長分散付加素子を α パラメタの符号に応じて選択して波長分散モニタ側に挿入できるようにした点にある。

【0134】光スイッチ10及び10aは、全て切替信号の同一論理レベルでp-q間又はp-r間の一方を選択するように設定する。これにより、p-q間が選択されれば、正の波長分散付加素子4bが挿入されることになり、p-r間が選択されれば、負の波長分散付加素子4cが挿入されることになる。これによって、光信号に対して α パラメタの符号に整合した波長分散を与えることができる。

【0135】尚、正及び負の波長分散付加素子としては、既に説明したように、分散付加ファイバ、光ファイバ・グレイティング、VIPAを使用することができる。

【0136】図12は、第四の発明の波長分散方式の構成(その3)で、図1の構成を基本にし、光ファイバ・グレイティングにおける光信号の伝播方向によって波長分散値の符号を変えることができることを利用した物である。

【0137】図12において、1は、伝送データによって強度変調された光信号を送信する光ファイバ伝送路、2は、受信光信号が受けている波長分散を補償するための波長分散可変素子、3は、波長分散可変素子2の出力光を分岐する分波器、4dは、分波器3が分岐した光信号の伝播方向によって正又は負の波長分散値を与える光ファイバ・グレイティング、5は、後述する光サーキュレータの出力を電気信号に変換する光・電気変換回路、6は、光・電気変換回路5が出力する伝送データの特定の周波数成分を通過させる帯域通過フィルタ、7は、帯域通過フィルタ6の出力信号のレベルを測定するパワー・センサ、8は、パワー・センサ7の出力をデジタル信号に変換するアナログ・デジタル変換回路、9cは、アナログ・デジタル変換回路8の出力を用いて波長分散可変素子2の波長分散値を制御すると共に、 α パラメタを自動判別して自動判別した α パラメタによって光ファイバ・グレイティングにおける波長分散野符号を切り替える制御回路、10乃至10cは制御回路9cが出力する

切替信号によって切り替えられる光スイッチ、11は、光サーキュレータ、12は光終端器である。

【0138】尚、波長分散可変素子2として使用できる素子と波長分散の制御手段、帯域通過フィルタ6の通過周波数の設定、制御回路の形式とアナログ・デジタル変換回路の要否、分波器3における分岐比については、既に説明した通りである。

【0139】ここで、図12の構成の特徴は、分波器3が分岐した光信号を光サーキュレータに供給すると共に、 α パラメタの符号を判別した制御回路9cが出力する切替信号によって光スイッチを切り替えて光ファイバ・グレイティング4dを通過する光信号の方向を変える点にある。

【0140】光スイッチ10乃至10cは、全て切替信号の同一論理レベルでp-q間又はp-r間の一方を選択するように設定する。これにより、p-q間が選択される時とp-r間が選択される時とでグレイテッド・ファイバを通過する光信号の方向が反対になるので、光ファイバ・グレイティングにおいて光信号に対して α パラメタの符号に整合した波長分散を与えることができる。

【0141】図13は、第四の発明の波長分散補償方式の構成(その4)で、図1の構成を基本にし、VIPAにおける波長分散の正負を切り替えるものである。

【0142】図13において、1は、伝送データによって強度変調された光信号を送信する光ファイバ伝送路、2は、受信光信号が受けている波長分散を補償するための波長分散可変素子、3は、波長分散可変素子2の出力光を分岐する分波器、4eは、分波器3が分岐した光信号に波長分散を与えるVIPA、5は、VIPA4eの出力を電気信号に変換する光・電気変換回路、6は、光・電気変換回路5が出力する伝送データの特定の周波数成分を通過させる帯域通過フィルタ、7は、帯域通過フィルタ6の出力信号のレベルを測定するパワー・センサ、8は、パワー・センサ7の出力をデジタル信号に変換するアナログ・デジタル変換回路、9cは、アナログ・デジタル変換回路8の出力を用いて波長分散可変素子2の波長分散値を制御すると共に、 α パラメタを自動判別して自動判別した α パラメタによってVIPAの波長分散値の符号を切り替える制御回路である。

【0143】尚、波長分散可変素子2として使用できる素子と波長分散の制御手段、帯域通過フィルタ6の通過周波数の設定、制御回路の形式とアナログ・デジタル変換回路の要否、分波器3における分岐比については、既に説明した通りである。

【0144】ここで、図11の構成の特徴は、分波器3が分岐した光信号をVIPA4eに供給し、 α パラメタの符号を判別した制御回路9bが出力する切替信号によってVIPA4eの波長分散の正負を切り替える点にある。これによって、光信号に対して α パラメタの符号に整合した波長分散を与えることができる。

【0145】尚、VIPAの波長分散の符号を変えるには、VIPA板と反射鏡の距離を切り替えればよい。

【0146】さて、図10乃至図13においては、図1の構成を基本にした α パラメタの符号の判別結果を使って所要の波長分散を付加する構成を示したが、当然、図2の構成を基本にして α パラメタの符号の判別結果を使って所要の波長分散を付加する構成も可能である。これは、図示はしないが、分波器3の出力側に波長分散の符号を切り替える構成を挿入すればよい。但し、分波器3の出力側に波長分散の符号を切り替える構成を挿入する場合には、波長分散モニタ側に挿入する場合に対して、波長分散付加素子の波長分散の符号を逆にするか、光スイッチの切替信号の論理レベルを逆にする必要がある。

【0147】図14は、第五の発明の波長分散補償方式の構成である。

【0148】図14において、1は、伝送データによって強度変調された光信号を伝送する光ファイバ伝送路、2は、受信光信号が受けている波長分散を補償するための波長分散可変素子、3は、波長分散可変素子2の出力光を分岐する分波器、5は、分波器3が分岐した一部光信号を電気信号に変換する光・電気変換回路、6は、光・電気変換回路5が出力する伝送データの特定の周波数成分を通過させる帯域通過フィルタ、7は、帯域通過フィルタ6の出力信号のレベルを測定するパワー・センサ、8は、パワー・センサ7の出力をデジタル信号に変換するアナログ・デジタル変換回路、7aは、光・電気変換回路5の出力信号のレベルを測定するパワー・センサ、8aは、パワー・センサ7aの出力をデジタル信号に変換するアナログ・デジタル変換回路、9dは、アナログ・デジタル変換回路8及びアナログ・デジタル変換回路8aの出力を用いて波長分散可変素子の波長分散値を制御する制御回路である。

【0149】図15は、図14の構成の動作を説明する図である。

【0150】図15における2本の曲線は共に伝送データの特定周波数成分（この場合、40GHz成分）の強度で、温度や電源電圧などの変動要因によって40GHz成分の強度が変化することを示している。

【0151】このように、40GHz成分の強度が温度や電源電圧などの変動要因によって変化する場合、40GHz成分の最大値を含むピークの傾斜部分の任意の強度（図15の例では、10任意単位）になる残留波長分散値を基準に波長分散可変素子の波長分散値を制御しようとすると、図15に示す如く、変動要因の変動に伴って10任意単位となる残留波長分散値が変化して、波長分散可変素子の波長分散値の制御の正確さが失われる。

【0152】ところで、40GHz成分は電気・光変換回路5の出力信号から抽出したものであるため、40GHz成分の変化率は電気・光変換回路5の出力パワーの変化率と等しい。

【0153】そこで、図14の如く、40GHz成分のパワーと電気・光変換回路5の出力信号のパワーを測定して、制御回路9cにおいて電気・光変換回路5の出力信号のパワーによって40GHz成分のパワーを正規化すれば、変動要因の変動の影響を相殺することができる。

【0154】従って、40GHz成分の最大値を含むピークの傾斜部分の任意の強度になる残留波長分散値を基準に波長分散可変素子2の波長分散値を制御するようにしても、波長分散可変素子2の波長分散値の制御を正確に行なうことができる。

【0155】尚、40GHz成分の最大値を含むピークの傾斜部分の任意の強度（図15の例では、10任意単位）になる残留波長分散値を基準に波長分散可変素子の波長分散値を制御する場合、任意とはいっても若干の制約を付すことが望ましい。それは、図15の例で最大値を含むピークの傾斜部分で10任意単位となる40GHz成分の強度は、他の極大値より大きいことである。このような強度を選択することによって最大値以外の極大値を誤選択する恐れを解消することが可能になる。

【0156】ここで、図14の構成は、図16の構成を基本にして電気・光変換回路5の出力パワーによって40GHz成分のパワーを正規化して変動要因の変動の影響を相殺する物であるが、図1又は図2の構成を基本にしても同様に変動要因の変動の影響を相殺することができ、更に、40GHz成分の最大値を含むピークの傾斜部分の任意の強度になる残留波長分散値を基準に波長分散可変素子2の波長分散値を制御するようにしても、波長分散可変素子2の波長分散値の制御を正確に行なうことができる。

【0157】

【発明の効果】第一の発明によれば、検出が容易な伝送データの特定周波数成分の最大値を検出して、当該最大値となる波長分散値を基準として波長分散の補償を行えばよく、正確に波長分散を補償することができる。これは、伝送データの波形が最適になる波長分散値は伝送データの特定周波数成分の強度が継続的に小さい範囲にあって正確な検出が困難であるのに対して、伝送データの特定周波数成分の強度が最大値となる波長分散値は検出が容易である。その上、伝送データの特定周波数成分の強度が最大値となる波長分散値と伝送データの波形が最適になる波長分散値との差は容易に知ることができるからである。

【0158】第二の発明によれば、伝送データの特定の周波数成分の強度が最大値となる波長分散値を正確に検出することができる。これは、伝送データの特定の周波数成分の強度の波長分散値に対するフィギュアは、 α パラメタの符号と一義的な関係にあるからである。

【0159】第三の発明によれば、得られたフィギュアによって α パラメタの符号を判別することができ、判別

した α パラメタの符号を利用して伝送データの特定の周波数成分の強度が最大値となる波長分散値を正確に検出することができる。これは、スweepして得られる伝送データの特定の周波数成分の強度の波長分散値に対するフィギュアは、 α パラメタの符号と一義的な関係にあるからである。

【0160】第四の発明によれば、光ファイバ伝送路に使用されている光ファイバの種類を予め知らない場合にも、所望の波長分散値を有する波長分散付加素子を光ファイバの種類に整合させて挿入することが可能になる。

【0161】第五の発明によれば、伝送データの特定の周波数成分の強度の最大値を含むピークの傾斜部分の波長分散値を基準にして波長分散の補償を行なうことが可能になる。傾斜部分では伝送データの特定の周波数成分の強度の変化率が大きいので、波長分散の補償を更に正確に行なうことができる。これは、伝送データの特定の周波数成分の強度は変動要因の変動によって変化するが、伝送データの強度が変動要因の変動に伴って変化する率と等しいので、正規化することによって変動要因の変動の影響を相殺することができるからである。

【図面の簡単な説明】

【図1】 第一の発明の波長分散補償方式の構成（その1）。

【図2】 第一の発明の波長分散補償方式の構成（その2）。

【図3】 第二の発明の波長分散補償方式の構成。

【図4】 α パラメタの違いによる伝送データの特定周波数成分の違いを示す図。

【図5】 伝送データの特定周波数成分の最大値の誤検出を防止するための考え方を示す図。

【図6】 第三の発明の波長分散補償方式の構成。

【図7】 図6の構成における α パラメタ情報の自動判別の別の考え方を説明する図。

【図8】 α パラメタの自動判別の具体的手法を説明する図（その1）。

【図9】 α パラメタの自動判別の具体的手法を説明する図（その2）。

【図10】 第四の発明の波長分散補償方式の構成（その1）。

【図11】 第四の発明の波長分散補償方式の構成（その2）。

【図12】 第四の発明の波長分散補償方式の構成（その3）。

【図13】 第四の発明の波長分散補償方式の構成（その4）。

【図14】 第五の発明の波長分散補償方式の構成。

【図15】 図14の構成の動作を説明する図。

【図16】 従来の波長分散モニタ型の波長分散補償方式の構成。

【図17】 図16の構成における残留波長分散値と抽出特定周波数成分の強度の関係（その1）。

出特定周波数成分の強度の関係（その2）。

【図18】 図16の構成における残留波長分散値と抽出特定周波数成分の強度の関係（その2）。

【図19】 分散シフト・ファイバの、残留波長分散値に対する伝送データの特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティ（その1）。

【図20】 分散シフト・ファイバの、残留波長分散値に対する伝送データの特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティ（その2）。

【図21】 分散シフト・ファイバの、残留波長分散値に対する伝送データの特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティ（その3）。

【図22】 ノン・ゼロ分散シフト・ファイバの、残留波長分散値に対する伝送データの特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティ（その1）。

【図23】 ノン・ゼロ分散シフト・ファイバの、残留波長分散値に対する伝送データの特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティ（その2）。

【図24】 ノン・ゼロ分散シフト・ファイバの、残留波長分散値に対する伝送データの特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティ（その3）。

【図25】 シングル・モード・ファイバの、残留波長分散値に対する伝送データの特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティ（その1）。

【図26】 シングル・モード・ファイバの、残留波長分散値に対する伝送データの特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティ（その2）。

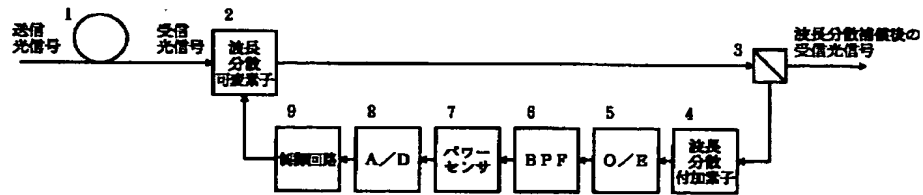
【図27】 シングル・モード・ファイバの、残留波長分散値に対する伝送データの特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティ（その3）。

【符号の説明】

- 1 光ファイバ伝送路
- 2 波長分散可変素子
- 3 分波器
- 4 波長分散付加素子
 - 4 a 波長分散付加素子
 - 4 b 正の波長分散値を与える波長分散付加素子（正の波長分散付加素子）
 - 4 c 負の波長分散値を与える波長分散付加素子（負の波長分散付加素子）
 - 4 d 光ファイバ・グレイティング
 - 4 e VIPA
- 5 光・電気変換回路
- 6 帯域通過フィルタ（BPF）
- 7 パワー・センサ（パワーセンサ）
- 8 アナログ・デジタル変換回路（A/D）
- 9 制御回路
 - 9 a 制御回路
 - 9 b 制御回路
 - 9 c 制御回路

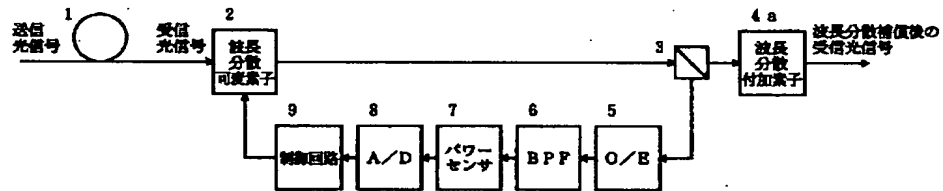
【図1】

第一の発明の波長分散補償方式の構成 (その1)



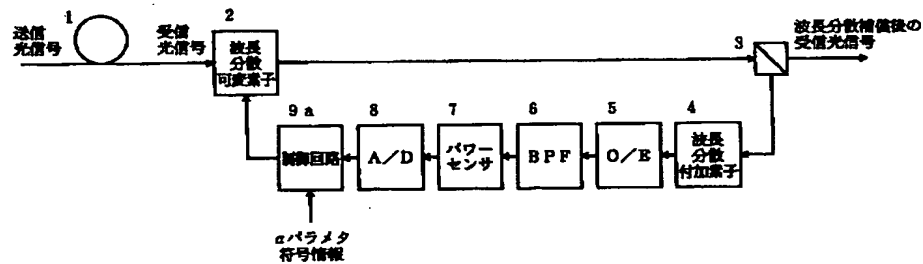
【図2】

第一の発明の波長分散補償方式の構成 (その2)



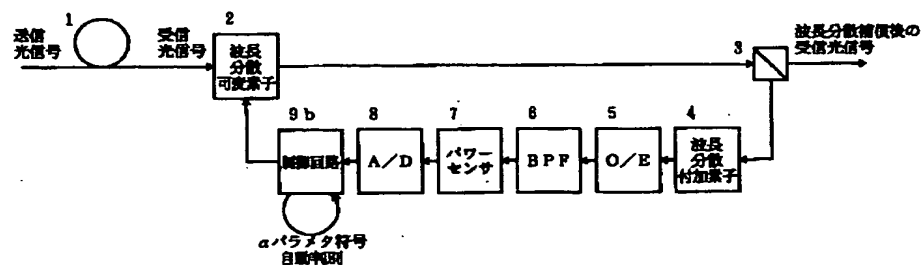
【図3】

第二の発明の波長分散補償方式の構成



【図6】

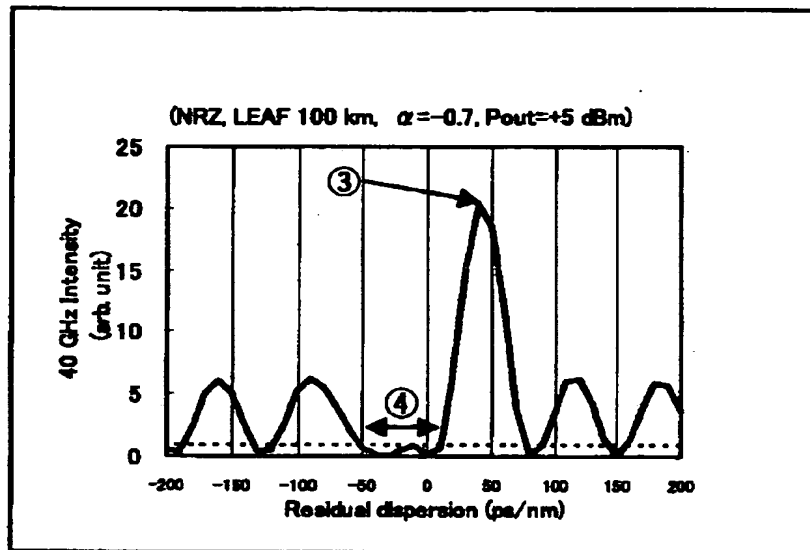
第三の発明の波長分散補償方式の構成



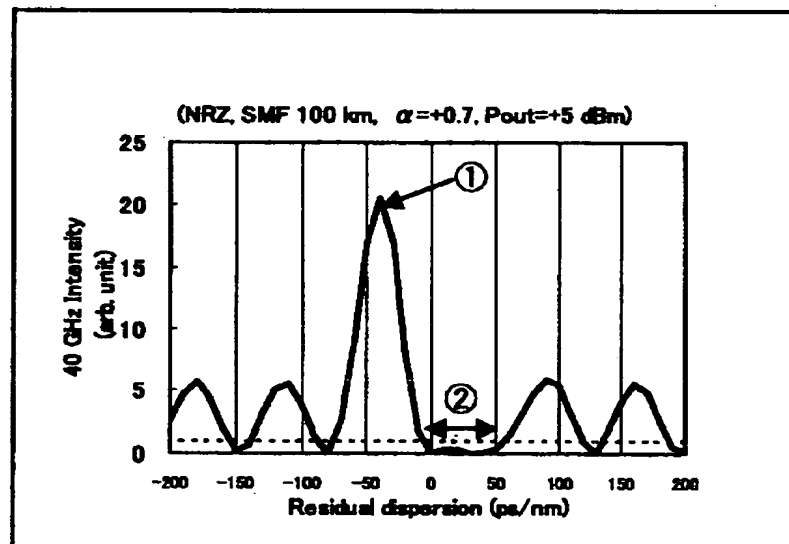
【図4】

α パラメタの違いによる伝送データの特定周波数成分の違いを示す図

(イ)

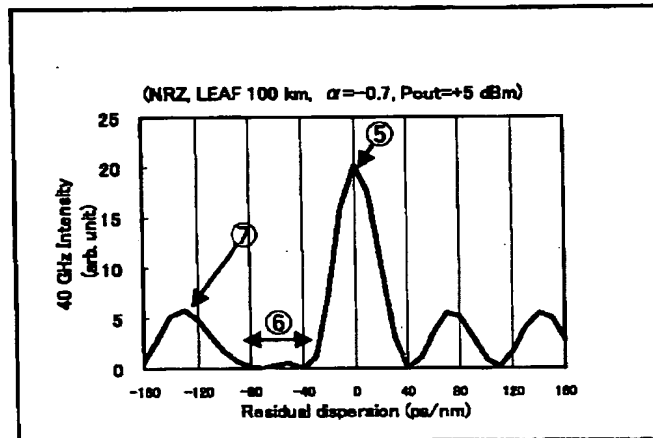


(ロ)



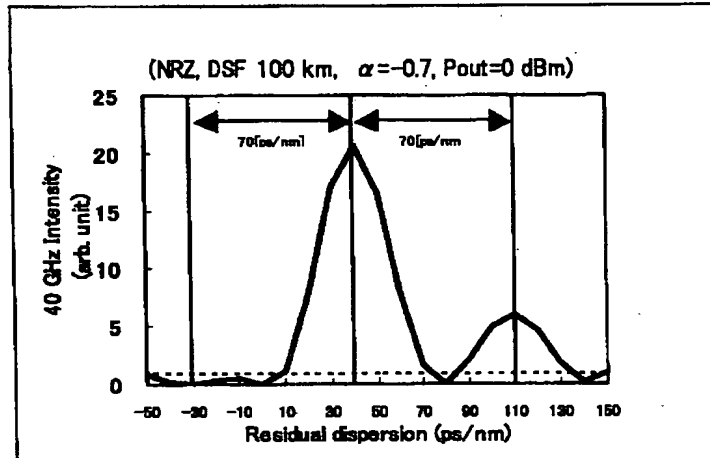
【図5】

伝送データの特定期波数成分の最大値の検出を防止するための考え方を示す図



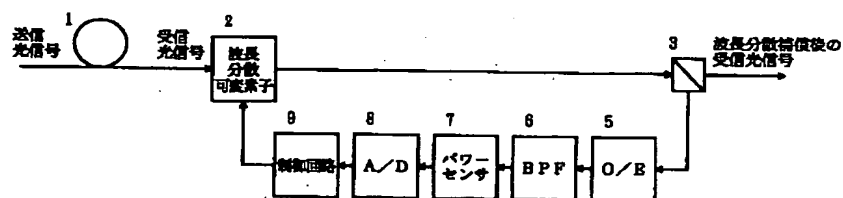
【図7】

α パラメタ情報の自動判別の別の考え方を説明する図



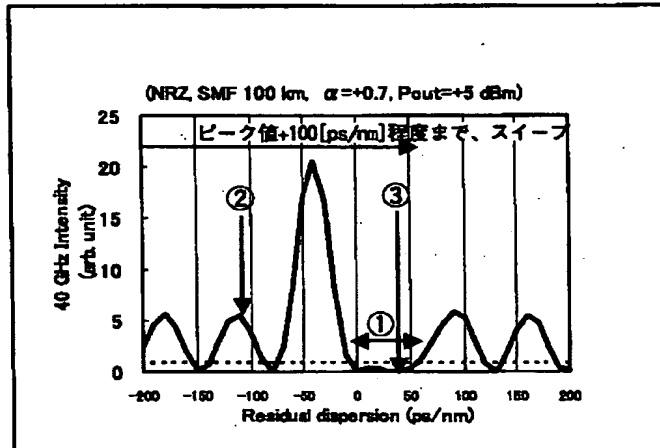
【図16】

従来の波長分散モニタ型の波長分散検出方式の構成



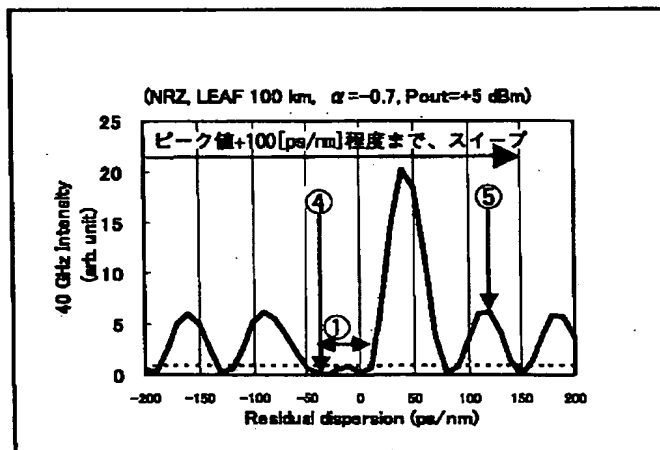
【図8】

α パラメタの自動判別の具体的手法を説明する図(その1)



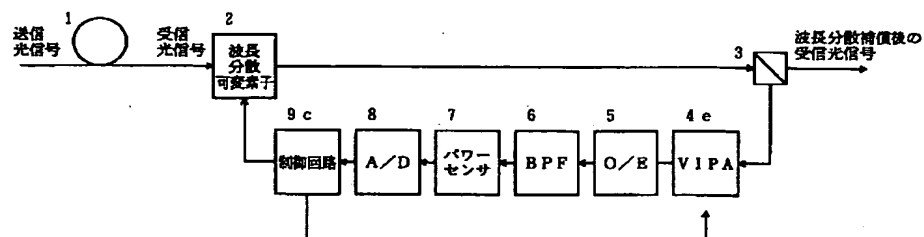
【図9】

α パラメタの自動判別の具体的手法を説明する図(その2)



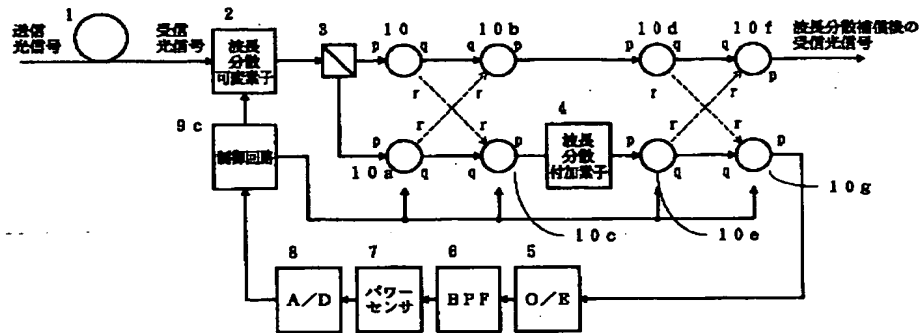
【図13】

第四の発明の波長分散補償方式の構成(その4)



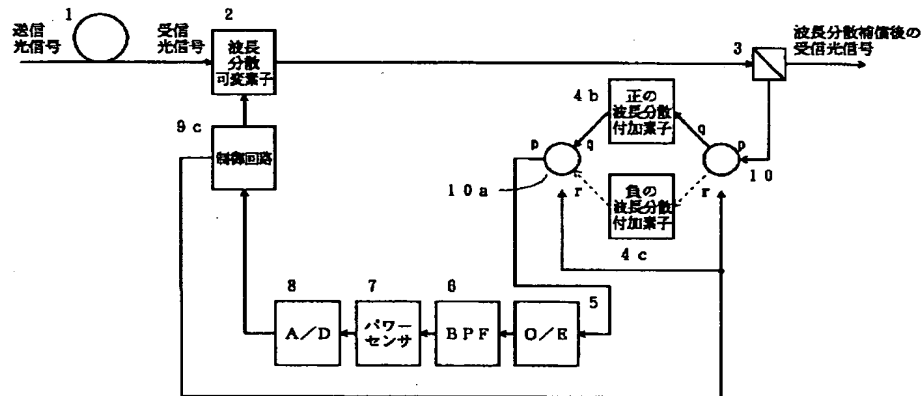
【図10】

第四の発明の波長分散補償方式の構成（その1）



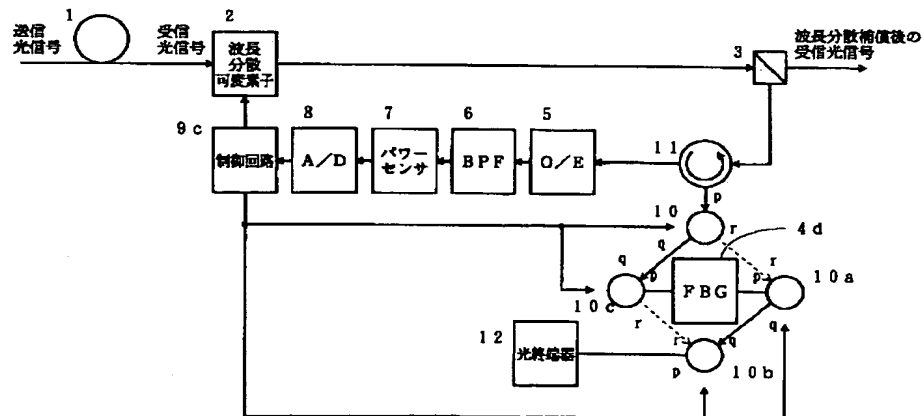
【図11】

第四の発明の波長分散補償方式の構成（その2）



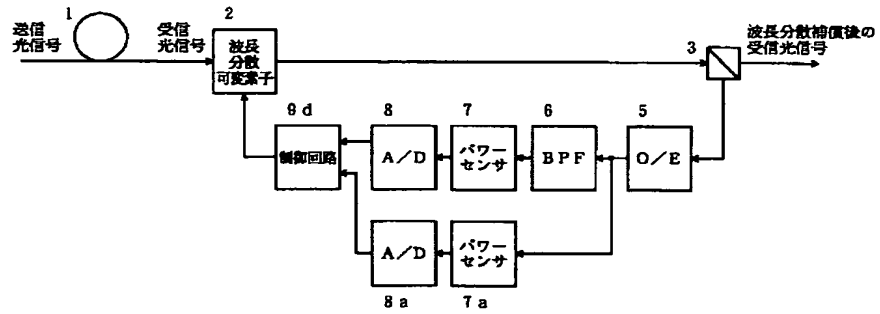
【図12】

第四の発明の波長分散補償方式の構成（その3）



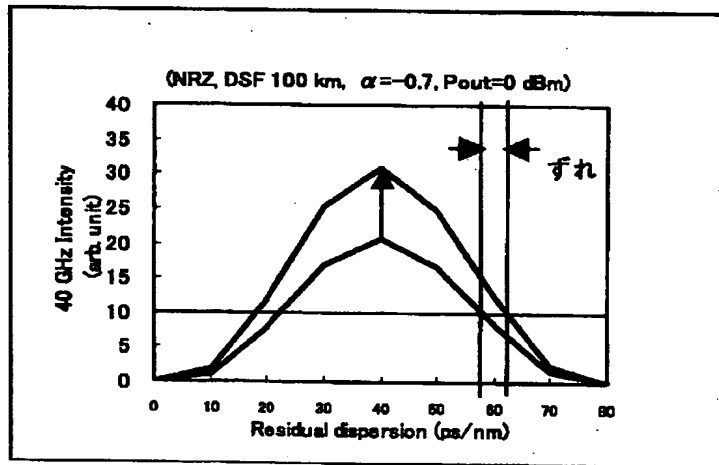
【図14】

第五の発明の波長分散補償方式の構成



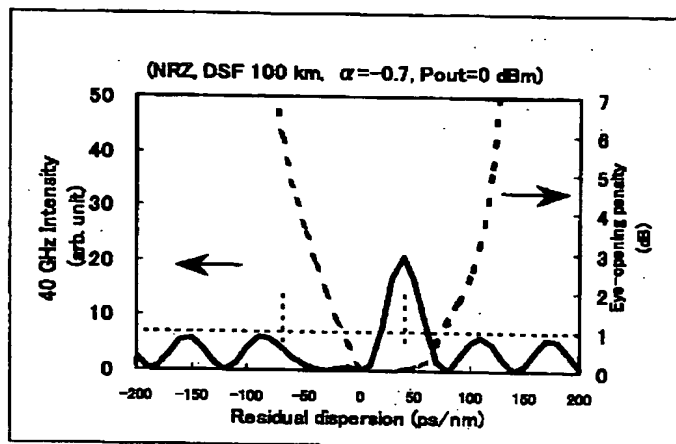
【図15】

図14の構成の動作を説明する図



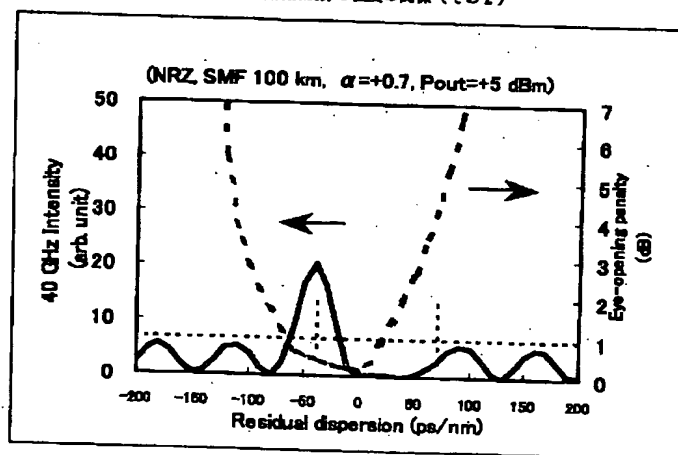
【図17】

図15の構成における残留波長分散値と、抽出特定周波数成分の強度の関係(その1)



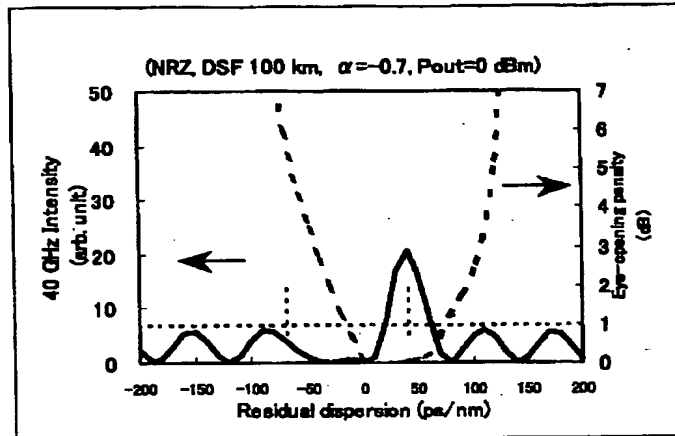
【図18】

図15の構成における残留波長分散値と、抽出特定周波数成分の強度の関係(その2)



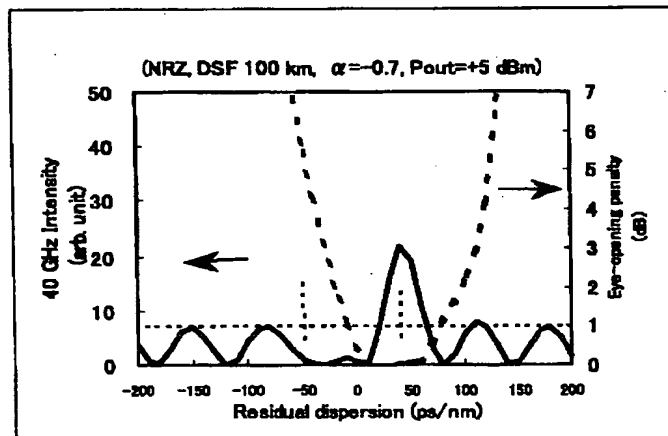
【図19】

分散シフト・ファイバの、残留波長分散値に対する
伝送データの特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティ (その1)



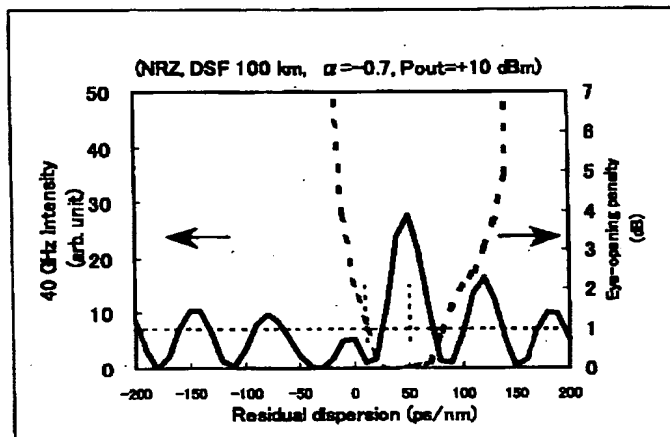
【図20】

分散シフト・ファイバの、残留波長分散値に対する
伝送データの特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティ (その2)



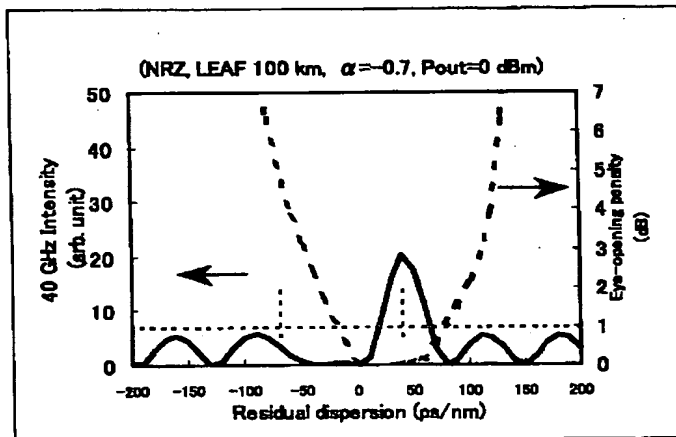
【図21】

分散シフト・ファイバの、残留波長分散値に対する
伝送データの特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティ (その3)



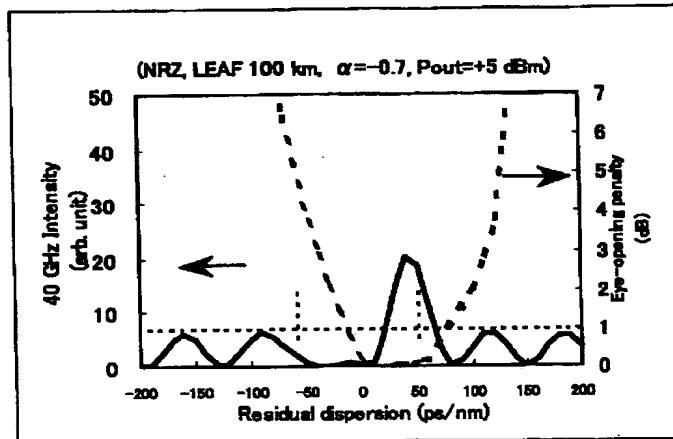
【図22】

ノン・ゼロ分散シフト・ファイバの、残留波長分散値に対する
伝送データの特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティ (その1)



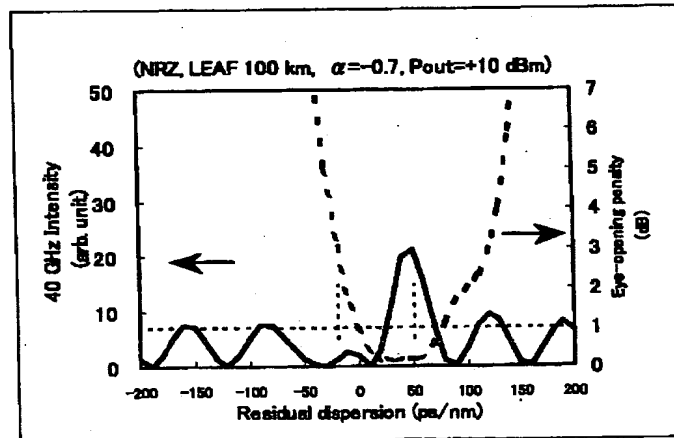
【図23】

ノン・ゼロ分散シフト・ファイバの、残置波長分散値に対する
伝送データの特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティ (その2)



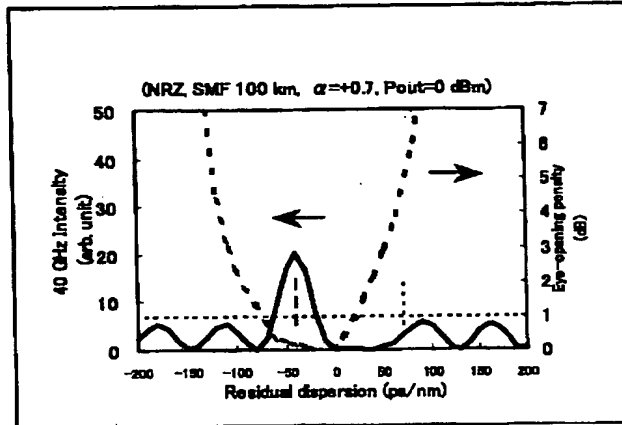
【図24】

ノン・ゼロ分散シフト・ファイバの、残置波長分散値に対する
伝送データの特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティ (その3)



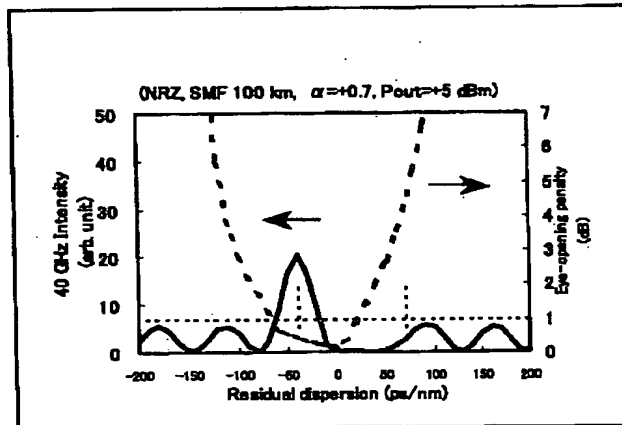
【図25】

シングル・モード・ファイバの、残留波長分散値に対する
伝送データの特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティ (その1)



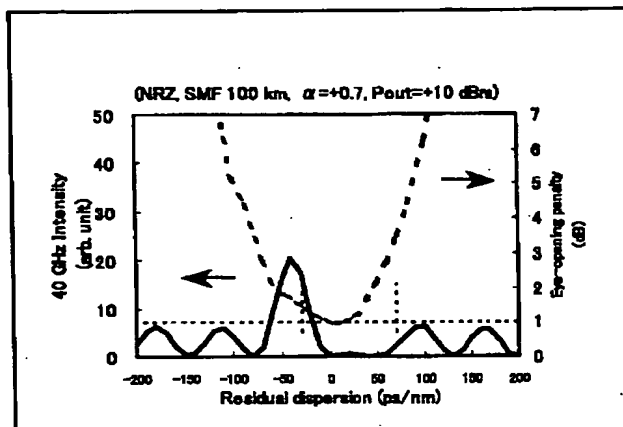
【図26】

シングル・モード・ファイバの、残留波長分散値に対する
伝送データの特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティ (その2)



【図27】

シングル・モード・ファイバの、残波長分散値に対する
伝送データの特定の周波数成分の強度及びアイ開口ペナルティ (その3)



フロントページの続き

(51)Int. Cl.⁷
H04B 10/12

識別記号

F I

キーワード (参考)

(72)発明者 石川 丈二
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

Fターム(参考) 5K002 AA06 BA02 BA05 CA01 DA31
FA01